

Козин В. М., Марьин Б. Н., Марьин С. Б., Волков К. В., Попова Н. А., Грачева О. А., Одиноков В. И., Евстигнеев А. И., Шпорт В. И.
V.M.Kozin, B.N.Maryin, S.B.Maryin, K.V.Volkov, A.N.Popova, O.A.Gracheva, V.I.Odinokov, A.I.Evstigneev, V.I.Shport

05.16.05

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК EXPERIMENTAL STUDIES ON THE POSSIBILITY TO USE FROZEN WATER FOR BLANK DEFORMATION PROCESSES

Козин Виктор Михайлович — д. т. н., профессор, заведующий лабораторией МДТТ, ИМиМ ДВО РАН
Victor M. Kozin — Doctor in Engineering, Professor, Head of the Laboratory of Solid Body Deformation Mechanics at the Metal Science and Metallurgy Institute of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Марьин Сергей Борисович — к. т. н., доцент кафедры МТЛП, КНАГТУ. E-mail: ma-ryinsb@mail.ru
Sergey B. Maryin — PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Волков Константин Владимирович — зам. директора по производству, ОАО «Амурметалл»
Konstantin V. Volkov — Deputy Director for Production, JSC «AmurMetal»

Попова Нина Анатольевна — заведующая лабораторией вычислительного центра ФЭТМТ, КНАГТУ. E-mail: vhfiks@knasty.ru
Nina A. Popova — Head of Computing Centre Laboratory at the Department of Power engineering, transport and marine technologies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), vhfiks@knasty.ru.

Грачева Ольга Александровна — заведующая лабораторией МТЛП, КНАГТУ
Olga A. Gracheva — Head of Laboratory at the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Марьин Борис Николаевич — д. т. н., профессор кафедры МТЛП, КНАГТУ
Boris N. Maryin — Professor of the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Одиноков Валерий Иванович — д. т. н., профессор, директор ИМиМ ДВО РАН
Valery I. Odinokov — Doctor in Engineering, Director of the Metal Science and Metallurgy Institute of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Евстигнеев Алексей Иванович — д. т. н., профессор, проректор по научной работе КНАГТУ
Alexey I. Evstigneev — Doctor in Engineering, Professor, Provost for Research at the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Шпорт Вячеслав Иванович — д. т. н., губернатор Хабаровского края
Vyacheslav I. Shport — Doctor in Engineering, Governor of Khabarovsk Region

Аннотация: Рассмотрены возможности деформирования трубных и листовых заготовок за счет энергии расширения льда.

Summary: The paper discusses the possibility of using the expansion energy of ice to deform tube and sheet blanks.

Ключевые слова: деформирование заготовок; рабочие тела; энергия расширения льда; замораживание воды; штамповая оснастка.

Keywords: blank deformation; working bodies; ice expanding energy; freezing of water; die tooling.

Важной проблемой в машиностроении является изготовление высокоресурсных, надежных трубопроводов, которые работают в условиях сложного нагружения. Они испытывают действия высоких давлений, пульсирующей нагрузки и гидравлических ударов, поэтому к ним предъявляются высокие требования по механическим свойствам материала, качеству внешней и внутренней

поверхностей, сохранению формы сечения, а также максимальному утонению стенок трубы.

Практика эксплуатации показывает, что наибольшее число разрушений трубопроводов связано с утонением их стенок в местах изгиба и перехода от одного диаметра к другому. Значительно снижают работоспособность трубопроводов такие факторы, как чрезмерная эллипсность и волнистость стенок, т. е. явления, сопровождающие процессы изготовления трубопроводов. Большое влияние на работоспособность трубопроводов оказывает качество зиговки тонкостенных труб, так как малейшие дефекты поверхности становятся концентраторами усталостных напряжений.

Детали из труб применяются во всех гидрогазовых системах летательных аппаратов, находят широкое применение в нефтяной, газовой, автомобильной промышленности и медицинской технике. Поэтому интенсификация технологических процессов формообразования деталей из тонкостенных трубных заготовок за счет увеличения степени деформации металла, достигаемой за одну операцию, совмещения операций, резкого сокращения сроков подготовки производства, трудозатрат и металлоемкости оснащения приобретает большое значение для всех формообразующих технологических процессов.

Перспективы использования и промышленного внедрения новых технологий связаны с применением современных труднодеформируемых материалов, титановых сплавов, а также с мобильностью, высокопроизводительностью, высокой культурой производства и с применением новых наполнителей труб.

Наполнители труб применяются для предотвращения потери устойчивости стенки трубы (гофрообразования) и отклонения от округлости (овальности) при ее гибке. Давление наполнителя, находящегося внутри трубы, должно уравнивать внутреннее напряжение в металле трубы, возникающее при гибке. В зависимости от марки материала, диаметра, толщины стенок и конфигурации труб при гибке в качестве наполнителя могут использоваться жидкостные, легкоплавкие и сыпучие материалы.

Жидкостные наполнители используются только для труб из сталей и алюминиевых сплавов диаметром до 27 мм [1]. К жидкостным наполнителям относится эмульсия, получаемая при смешивании эмульсола с водой. Эмульсолы в зависимости от концентрации компонентов могут быть разных марок (ГОСТ 1975-75).

Применяются эмульсии на основе эмульсолов марок Э — 1 (А), Э — 2 (Б), Э — 3 (В) по ГОСТ 1975-75 или масла АМГ — 10 по ГОСТ 6794-75. В связи с высокой стоимостью масла АМГ — 10 оно используется только при ремонте, при небольших партиях деталей, но не в серийном производстве.

В работе рассмотрены две задачи: возможность создания наполнителя, состоящего из воды и демпфирующих элементов, при замораживании которого его объемное расширение не приводило бы к формоизменению трубы до начала ее гибки, и возможность использования энергии расширения льда для формоизменения заготовок. С этой целью были проведены две серии экспериментов.

Для первой серии были использованы заготовки труб с техническими характеристиками:

- марка металла: Д16;
- внутренний диаметр 42 мм;
- наружный диаметр 45 мм;
- толщина стенки 1,5 мм;
- длина заготовки 420 мм.

Заготовка заполнялась наполнителями разных типов и затем заключалась в бандаж в подводном положении. Между бандажом и концами трубы устанавливались прокладки для устранения возможной течи наполнителя из-за негерметичности сборки. Конструкция экспериментальной установки показана на рис. 1 в разобранном, а на рис. 2 — в собранном виде. Экспериментальная установка помещалась в морозильную камеру с различной отрицательной температурой на 24 часа. Бандаж представлял собой две стальные пластины, соединенные между собой шпильками. Была проведена следующая серия экспериментов.

Серия экспериментов № 1

В опытах использовалась трубная заготовка длиной 220 мм, торцы которой глушились деревянными пробками (см. рис. 2). В качестве наполнителя использовалась вода. Температура изменялась в диапазоне -3.. -12°С. Никаких изменений с трубной заготовкой не происходило. Это можно объяснить тем, что расширение льда компенсировалось сжатием пробок и не подействовало на саму заготовку.

Серия экспериментов № 2

Длина заготовки составляла 420 мм, ее торцы трубы глушились стальными пластинами с прокладками из линолеума. В качестве наполнителя использовалась вода. Шаг промера диаметров составлял 50 мм. Результаты опытов представлены в таблице 1 и на рис. 3 и 4.

Таблица 1

№ диаметра	D ₀ , мм	Время охлаждения, час.	Температура, °С	Dx, мм
1	45	22:25	-15	45,2
2	45		-15	45,1
3	45		-15	45,1
4	45	4:00	-15	45,7
5*	45		-15	50,1; 57,7; 55,1; 52,2
6	45		-15	48,2
7	45	6:00	-27	45,4
8	45		-27	45,4
9	45		-27	45,4

* - в районе 5-го диаметра произошел разрыв заготовки длиной около 50 мм.

Серия экспериментов № 3

Длина трубы равнялась 420 мм, торцы также глушились стальными пластинами с прокладками из линолеума.

Козин В. М., Марьин Б. Н., Марьин С. Б., Волков К. В., Попова Н. А., Грачева О. А., Одинокоев В. И., Евстигнеев А. И., Шпорт В. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

ма. В качестве наполнителя использовались вода и древесные опилки 50%-ной концентрации. При заморозке заготовки в вышеописанном режиме ее деформаций не произошло.

Серия экспериментов № 4

Труба длиной 420мм, торцы которой глушились прокладками из линолеума. В качестве наполнителя использовалась вода и целлюлоза. Целлюлоза покрывала внутреннюю поверхность трубы слоем толщиной 0,6мм. Шаг промера диаметра равен 50мм. Результаты опыта представлены в таблице 2.

Между 4 и 5 промерами диаметров произошел разрыв (см. рис. 5 и рис. 6) длиной около 45мм, лёд выдавливался из торцов трубы. В месте разрыва диаметры эллипса составляли: 47,3; 55,5; 50; 50. В целом деформации заготовки оказались меньше, чем в эксперименте №2.

Таблица 2

№ диаметра	D ₀ , мм	D _x , мм
1	45	45
2	45	45,3
3	45	45,3
4	45	46,3
5	45	49,1
6	45	45,3
7	45 </td <td>45,3</td>	45,3
8	45	45

Серия экспериментов № 5

Использовалась труба длиной 420мм, торцы которой глушились стальными пластинами с прокладками из линолеума. В качестве наполнителя также использовались вода и слои бумаги толщиной 1,2мм, которыми покрывалась внутренняя поверхность трубы толщиной 1,2мм. Результаты опыта представлены в таблице 3.

Таблица 3

№ диаметра	D ₀ , мм.	D _x , мм.
1	45	45
2	45	45,3
3	45	45,4
4	45	46,3
5	45	49,1
6	45	45,6
7	45	45,2
8	45	45

Серия экспериментов № 6

Серия экспериментов проводилась с наполнителем в виде воды и органических включений в виде древесных опилок различной концентрации по отношению к внутреннему объему заготовки. Результаты экспери-

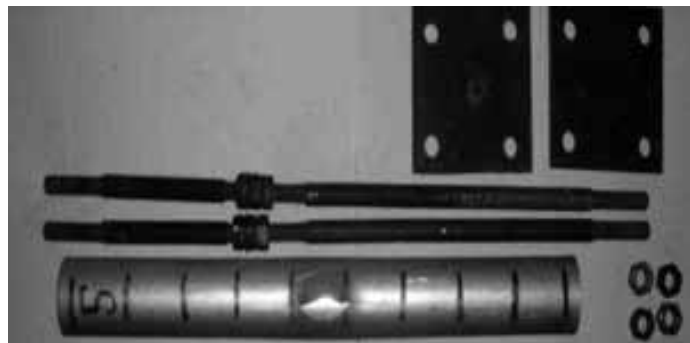


Рис. 1. Экспериментальная установка в разобранном виде (серии экспериментов № 1-6)



Рис. 2. Экспериментальная установка в собранном виде (серии экспериментов № 1-6)



Рис. 3. Деформации заготовки с использованием наполнителя в виде воды



Рис. 4. Характер разрушения заготовки



Рис. 5. Разрушение заготовки при проведении серии экспериментов №4

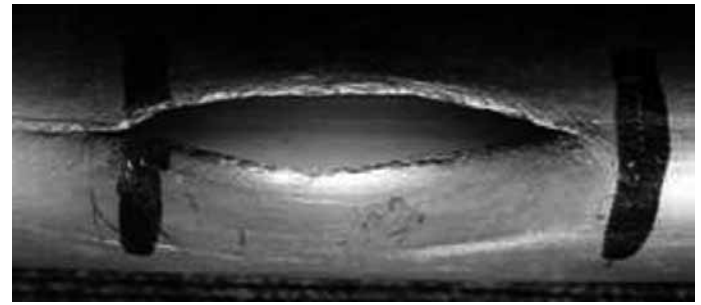


Рис. 6. Вид разрушения в области локализации деформаций

ментов представлены в таблице 4.

Таблица 4

№ опыта	Дата начала опыта	Дата завершения опыта	t, °C	d ₀ , мм	d _x , мм	Примечание
1	15.04.09 20-00	16.04.09 12-00	-19 -20	45	45	Опилек в наполнителе 50% от объема трубы. Деформации заготовки отсутствовали.
2	18.04.09 20-00	19.04.09 22-00	-19 -20	45	45	Концентрация опилок 40%. Деформации заготовки отсутствовали.
3	28.04.09 20-00	29.04.09 20-00	-19 -20	45	45	Концентрация опилок 40%. Деформации заготовки отсутствовали.
4	5.05.09 19-00	6.05.09 20-00	-19 -20	45	45	Концентрация опилок 40%. Деформации заготовки отсутствовали.
5	10.05.09 21-00	11.05.09 20-00	-19 -20	45	45	Концентрация опилок 40%. В середине трубы произошло равномерное вздутие. В этом месте диаметр заготовки увеличился на 0,7 мм.

Результаты данной серии экспериментов позволяют сделать вывод, что в качестве наполнителя при гибке труб можно использовать воду с органическими включениями определенной концентрации, что позволит исключить формоизменение заготовок до начала их гибки при замораживании такого наполнителя.

Серия экспериментов №7

В следующей серии экспериментов исследовалась возможность использования в качестве наполнителя в виде замораживаемого водного раствора поваренной соли (NaCl). В опытах использовались заготовки с техническими характеристиками:

— марка металла: Д16;

- внутренний диаметр 40 мм;
- наружный диаметр 42 мм;
- толщина стенки 2 мм;
- длина заготовки 480 мм.

Их результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

№ опыта	дата начала опыта	дата завершения опыта	t, °C	d ₀ , мм	d _x , мм	Примечание
1	1.04.08 19:00	2.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 1000 г соли. Деформации заготовки отсутствовали. Лед не образовался.
2	5.04.08 19:00	6.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 500 гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Структура льда — рыхлая.
3	12.04.08 19:00	13.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 400 гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Структура льда — рыхлая.
4	14.04.08 19:00	15.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 250 гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Структура льда — рыхлая.
5	20.04.08 19:00	21.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 100 гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Агрегатное состояние наполнителя — твердое.

Козин В. М., Марьин Б. Н., Марьин С. Б., Волков К. В., Попова Н. А., Грачева О. А., Одинокоев В. И., Евстигнеев А. И., Шпорт В. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

6	24.04.08 19:00	25.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 80гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Агрегатное состояние наполнителя- твердое. Деформации заготовки отсутствовали.
7	6.05.08 19:00	7.04.08 8:00	-14 -16	42	42	На 1 л воды приходилось 50гр соли. Деформации заготовки отсутствовали. Агрегатное состояние наполнителя- твердое. Наполнитель был выдавлен из-под уплотнений в процессе замораживания

Выполненные эксперименты показали, что исследованный наполнитель также можно использовать при гибке труб.

В работе также рассмотрена возможность использования для зиговки трубных заготовок природную энергию расширения льда при его охлаждении до определенной температуры, т.е. использовать лед в качестве рабочего тела. Например, вместо полиуретанового наполнителя можно использовать обычную воду при ее замораживании, т.к. при понижении температуры до -10 ... -20 °С в зависимости от солености лед максимально расширяется (см. табл. 6 и рис. 7). Таким образом, дармовую энергию расширения льда при его охлаждении можно использовать для деформирования заготовок, не пользуясь традиционными технологиями и приспособлениями, что позволит значительно снизить се-

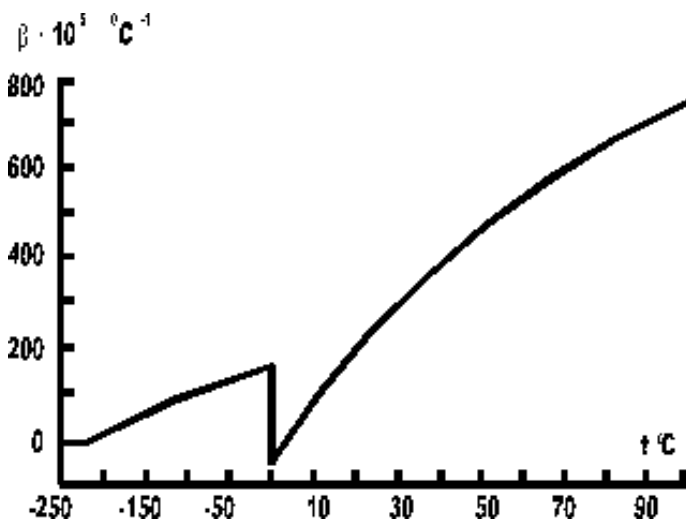


Рис. 7. Температурная зависимость коэффициента β технического расширения льда и жидкой воды (при атмосферном давлении)

бестоимость продукции.

Серия экспериментов № 8

Для проведения эксперимента использовались заготовки труб (рис. 8) с техническими характеристиками:

- марка металла: Д16;
- внутренний диаметр 25мм;
- наружный диаметр 28мм;
- толщина стенки 1,5мм;
- длина заготовки 100мм.
- параметры матрицы (см. рис. 9):
- ширина матрицы 82мм;
- длина матрицы 94мм;
- толщина матрицы 34мм;
- диаметр ручейка матрицы 36,75мм.

Температура замерзания морской воды t в зависимости от хлорности Cl_p и солености ξ_p

Cl_p %0	0,00	3,00	6,00	9,00	12,00	15,00	20,00
ξ_p %0	0,00	5,42	10,84	16,26	21,68	27,10	36,13
$t, ^\circ C$	-0,014	-0,298	-0,584	-0,878	-1,172	-1,781	-2,098

Хлорность Cl_p и соленость ξ_p рассола в зависимости от температуры t

$t, ^\circ C$	0,0	-2,0	-8,0	-15,0	-20,0	-23,0
Cl_p %0	0,00	20,41	70,60	107,88	129,11	143,51
ξ_p %0	0,00	36,68	124,31	177,34	211,43	232,48

Основные свойства морского льда как функция его хлорности, солености и температуры

$t, ^\circ C$	$\frac{Cl_{p \min}}{\xi_{p \min}} \%$							
	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	15,00
	0,00	3,38	6,76	10,14	13,52	16,90	20,23	25,35
Коэффициент объемного расширения морского льда ($10^{-3}/^\circ C$)								
-0,2	916,73							
-2,0	917,00	4,31	-8,56	-12,36	-18,83	-23,78	-30,59	-37,91
-8,0	917,92	0,00	-0,22	-0,51	-0,72	-0,92	-1,14	-1,47
-15,0	918,97	0,14	0,06	0,05	0,00	-0,09	-0,23	-0,39
-23,0	920,19	1,08	1,63	2,17	2,79	3,39	4,29	5,66

После помещения заготовки в матрицу (рис. 9) последняя зажималась при помощи специального банджа. Для концентрации деформаций заготовки в области ручья матрицы на концы заготовки одевались шайбы (см. рис. 10).

Собранная конструкция погружалась в воду, после чего в подводном положении торцы заготовки заглушались банджом с полиэтиленовыми прокладками (см. рис. 11) с целью устранения возможной утечки наполнителя из-за недостаточной герметичности сборки конструкции.

Экспериментальная установка помещалась в морозильную камеру с температурой -19 ... -20°C на различ-

ные периоды времени.

Серия экспериментов №9

В качестве наполнителя использовалась водопроводная вода. Результаты опытов приведены в таблице 6.

Таблица 6

№ опыта	Дата начала опыта	Дата завершения опыта	t, °C	d ₀	d _x	Примечание
1	29.03.08 21.50	31.03.08 9.40	-19 -20	28	Не определен	С торца заготовки образовался продольный разрыв (см. рис. 12). Для следующего опыта использовались шайбы (см. рис. 10)
2	14.04.08 22.40	15.04.08 15.10	-19 -20	28	28	Никаких изменений с заготовкой не произошло (см. рис. 13)
3	21.04.08 21.00	23.04.08 20.30	-19 -20	28	31.6	Равномерное увеличение диаметра на 3,6 мм без повреждений (см. рис. 14)
4	24.04.08 21.20	26.04.08 15.15	-19 -20	28	31.25	Равномерное увеличение диаметра на 3,25 мм без повреждений
5	26.04.08 22.00	28.04.08 10.40	-19 -20	31.25	33.8	Заготовка повторно замораживалась. На заготовке возник продольный разрыв на месте зига (см. рис. 15)
6	5.03.08 19.00	6.03.08 21.00	-19 -20	28	28	Никаких изменений на заготовке
7	6.03.08 22.00	8.03.08 15.00	-19 -20	28	30.5	Неравномерное увеличение диаметра на 2,5 мм
8	13.03.08 21.00	15.03.08 18.00	-19 -20	30.5	34	Продольный разрыв на месте зига (см. рис. 16)

Серия экспериментов №10

В качестве наполнителя использовалась как чистая вода, так и вода с демпфирующими добавками. В серии опытов №6 добавкой служила целлюлоза в виде древесных опилок, а в серии опытов №7 — битый лед. Результаты экспериментов представлены в таблице 7.

Таблица 7

№ опыта	Дата начала опыта	Дата завершения опыта	t, °C	d ₀ , мм	d _x , мм	Примечание
6.1	30.03.08 23.00	1.04.08 18.00	-19 -20	28	31	Образовался равномерный небольшой зиг, увеличение в диаметре на 3мм

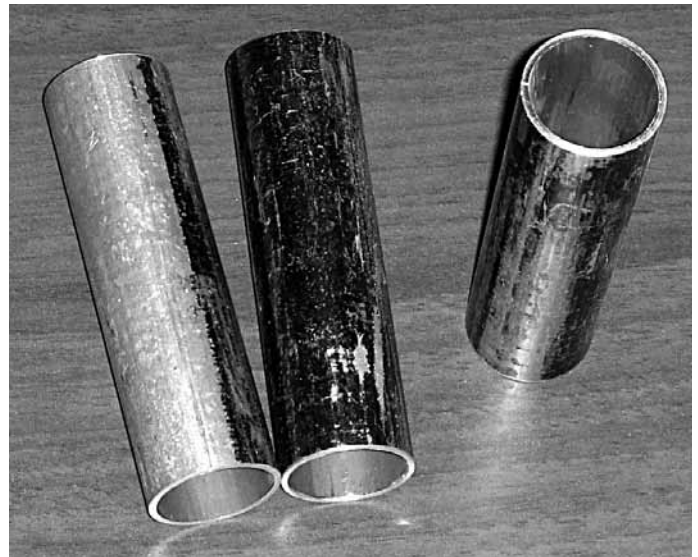


Рис. 8. Заготовки использованные в серии экспериментов №8

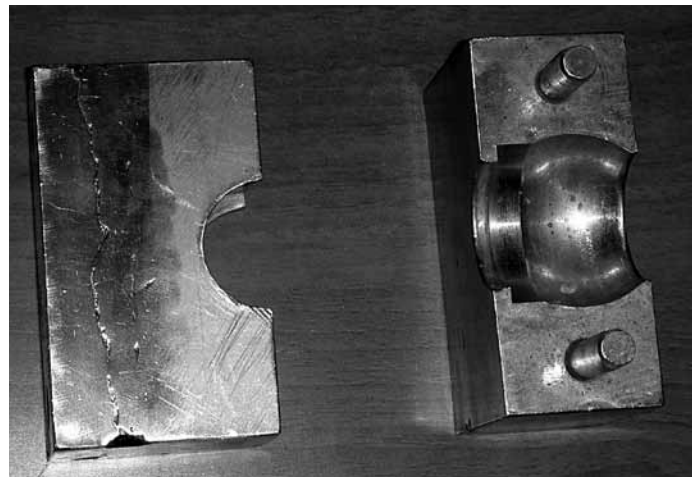


Рис. 9. Матрица в разобранном виде

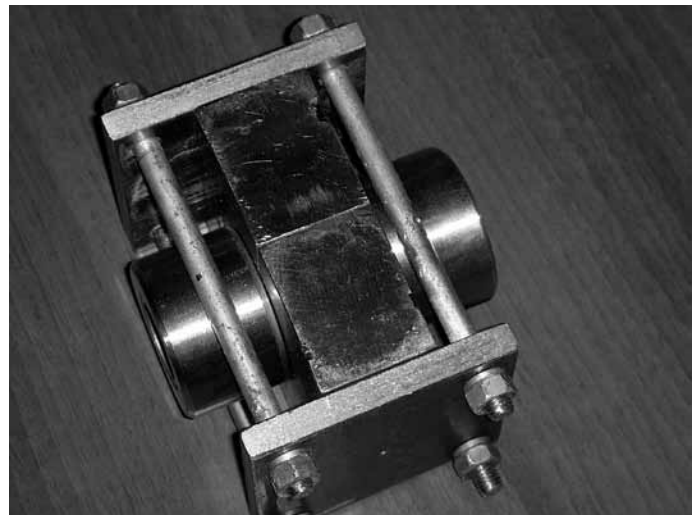


Рис. 10. Установка на концы заготовки торцевых шайб

Козин В. М., Марьин Б. Н., Марьин С. Б., Волков К. В., Попова Н. А., Грачева О. А., Одинокоев В. И., Евстигнеев А. И., Шпорт В. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

6.2	1.04.08 20.00	3.04.08 21.00	-19 -20	31	31	Добавлен слой газеты размера 245x100 мм. На заготовке не наблюдалось никаких изменений
6.3	10.04.08 19.00	12.04.08 21.00	-19 -20	31	34	Добавлен слой газеты 145x100 мм. Разрыв стенки трубы, гораздо меньше, чем без использования газеты (см. рис. 17)
7.1	17.04.08 20.00	19.04.08 20.00	-19 -20	28	31.8	Равномерный зиг, увеличение в диаметре на 3,8 мм
7.2	19.04.08 21.30	21.04.08 22.00	-19 -20	31.8	34.5	Наполнителем служил битый лед с водой. На заготовке также произошел продольный (см. рис. 18) разрыв, но гораздо меньший по размерам (см. рис. 18)

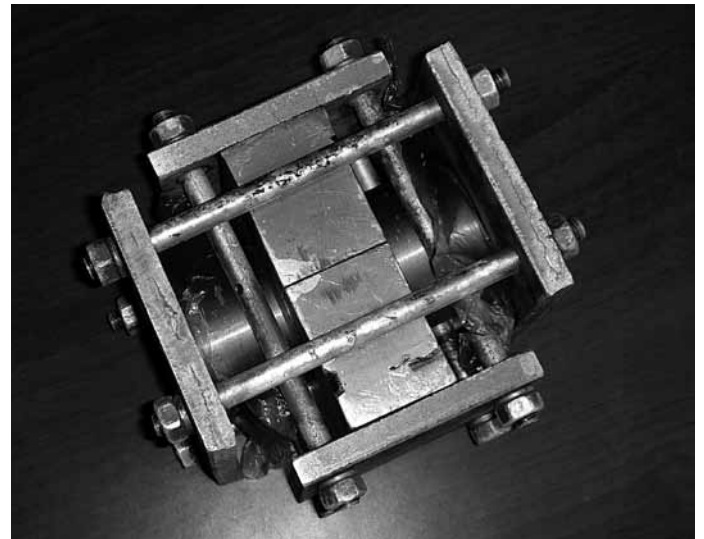


Рис. 11. Собранная конструкция для экспериментальных исследований

Выполненные эксперименты по исследованию возможностей использования льда в качестве рабочего тела при зиговке трубных заготовок показали только возможность такого нетрадиционного применения льда. Результаты этой серии опытов говорят о необходимости дальнейших, более глубоких исследований в этом направлении. Для разработки реальной технологии следует изучить влияние температурных и временных режимов, химического состава льда, наличия и концентрации демпфирующих добавок, цикличности (неоднократности) нагружения заготовок и др. на закономерности их деформирования.

В работе также были выполнены эксперименты по исследованию возможностей использования энергии расширения льда при его охлаждении для формирования листовых заготовок.

Эта технология также относится к энерго- и ресурсосберегающим, т.к. для ее осуществления не требуется больших затрат электроэнергии, дорогостоящего оборудования и сложной оснастки, поскольку для выполнения технологического процесса может быть использована дармовая (природная) энергия расширения льда за счет использования естественных низких температур. С помощью этой технологии относительно просто можно изготавливать детали самых разнообразных форм и размеров. Такой метод обработки металлов давлением наиболее успешно может применяться в регионах с холодным климатом.

В работе также предлагается технология деформирования листовых заготовок, основанная на свойстве льда увеличивать свой объем при охлаждении после заморзания воды.

Для реализации этого направления ниже приведены схемы разработанных штампов, которые можно использовать при выполнении различных технологических операций.



Рис. 12. Деформация заготовки при отсутствии шайб



Рис. 13. Вид заготовки после установки шайб



Рис. 14. Деформация заготовки без повреждений



Рис. 15. Разрыв заготовки в опыте № 5



Рис. 16. Разрыв заготовки в опыте № 8

Вытяжка листовой заготовки

На рис. 19 показан штамп, который состоит из крышки штампа 1 с рабочей полостью и основания 2. В основании имеется полость для установки сменной матрицы 3. В крышке штампа также установлен штуцер 5 с клапаном, через который в рабочую полость поступает рабочая среда (вода 9). Для удаления воздуха из рабочей полости предусмотрен управляемый клапан 10. С целью герметизации рабочей полости на торцевой части крышки выполнена кольцевая проточка с уложенным в неё резиновым кольцом 6. Крышка штампа также обеспечивает прижим края заготовки, что препятствует образованию гофра.

Принцип действия:

В основание 2 устанавливается матрица 3. Поверхность матрицы смазывается. Сверху помещается листовая заготовка 4. Затем на матрице 3 крепится крышка штампа 1 с заранее установленным объёмом рабочей полости. В рабочую полость через штуцер 5 под давлением подаётся рабочая среда. Воздух из рабочей полости удаляется через управляемый клапан 10. Собранный и наполненный водой штамп помещается в морозильную камеру или в холодную среду. При фазовом переходе воды в твёрдое состояние (лёд 8) объём твёрдой фазы увеличивается, за счёт чего происходит деформация листовой заготовки в деталь 7.

Отбортовка отверстий в листовой заготовке

На рис. 20 изображен штамп, который состоит из крышки штампа 4 с рабочей полостью и основания 5. В основании имеется полость для установки сменной матрицы 6. В крышке штампа также установлен штуцер 7 с клапаном, через который в рабочую полость поступает рабочая среда (вода 3). Для удаления воздуха из рабочей полости установлен управляемый клапан 8. Для герметизации рабочей полости на торцевой части крышки предусмотрена кольцевая проточка с уложенным в неё резиновым кольцом 9. Крышка штампа также обеспечивает прижим края заготовки, что препятствует образованию гофров.

Принцип действия:

Листовая заготовка 1 помещается в штамп с крышкой 4 и основанием 5. В предварительно просеченное отверстие устанавливается стальной шарик 2. Затем рабочая полость штампа заполняется рабочей средой (водой). Рабочая среда охлаждается и образующийся при этом лёд 10 продавлиывает стальной шарик через отверстие в заготовке, производя отбортовку.

Раздача тонкостенной трубной заготовки.

Штамп для раздачи тонкостенных трубных заготовок состоит из цилиндрического корпуса 1 с крышками 5 и 7, разъёмной матрицы 2 (см. рис. 21).

Технология реализации решения заключается в следующем:

В цилиндрический корпус штампа 1 устанавливается разъёмная матрица 2 с трубной заготовкой 4. Трубная



Рис. 17. Разрыв заготовки в опыте № 6



Рис. 18. Разрыв заготовки в опыте № 7.2

заготовка заполняется водой 3. Затем штамп закрывается крышками 5 и 7 (см. рис. 21). Собранный штамп помещается в морозильную камеру. При замерзании объём воды начнёт увеличиваться и образующийся лёд 6 деформирует трубную заготовку в готовое изделие 8.

Для исследования возможностей рассмотренной технологии, т.е. использования энергии расширения льда при его охлаждении с целью формоизменения листовых заготовок, была изготовлена технологическая оснастка, показанная на рис. 22, которую можно использовать при изготовлении деталей различных форм и размеров.

Работоспособность нового подхода продемонстрирована на рис. 23, где представлен результат деформирования листовой заготовки с помощью предложенной технологии.

Кроме разработанных конструкций штампов для деформирования заготовок с помощью льда ниже приве-

дены способы для их осуществления, разработанные и защищенные патентами РФ на изобретения авторами статьи.

1. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК. Патент RU № 2308341. Опубл. 20.10.2007. Бюл. № 29.

Изобретение относится к области обработки металлов давлением и может быть использовано при изготовлении тонкостенных гнутых трубопроводов. Заготовку соосно располагают в трубе диаметром больше диаметра заготовки, зазор между стенками заготовки и трубы и заготовку заполняют водой и после этого заготовку и трубу с наполнителями замораживают.

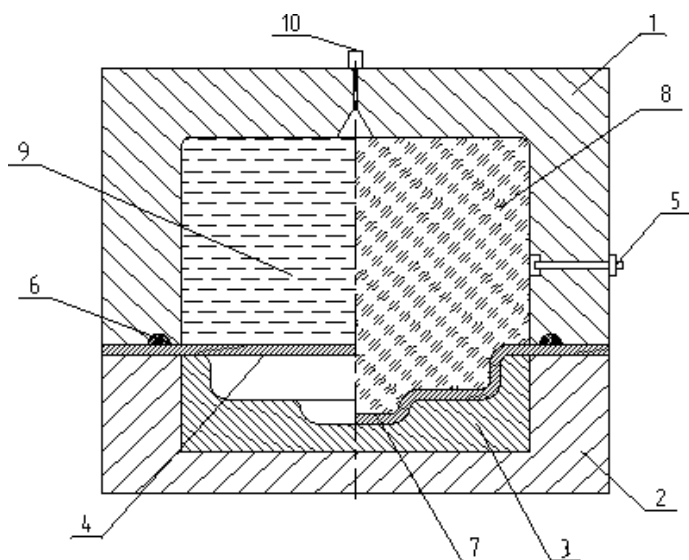


Рис. 19. Штамп для деформирования льдом листовой заготовки

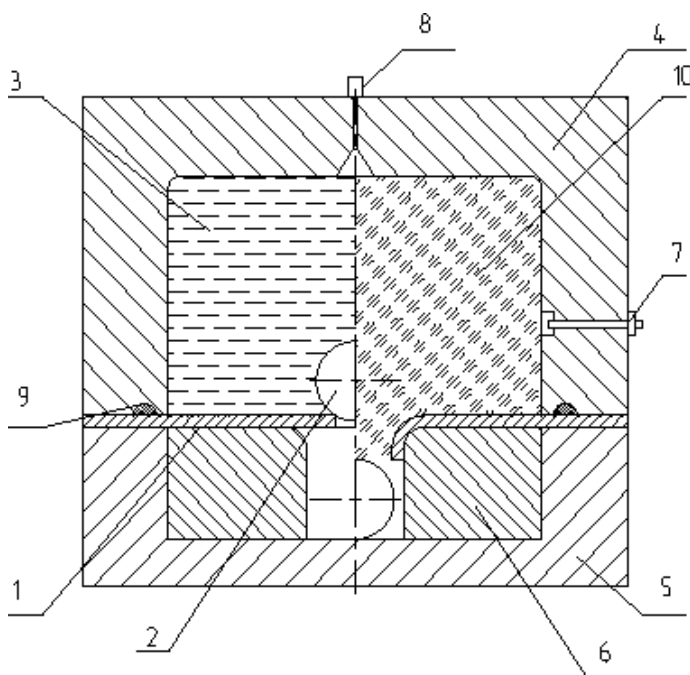


Рис. 20. Штамп для отбортовки отверстий в листовой заготовке

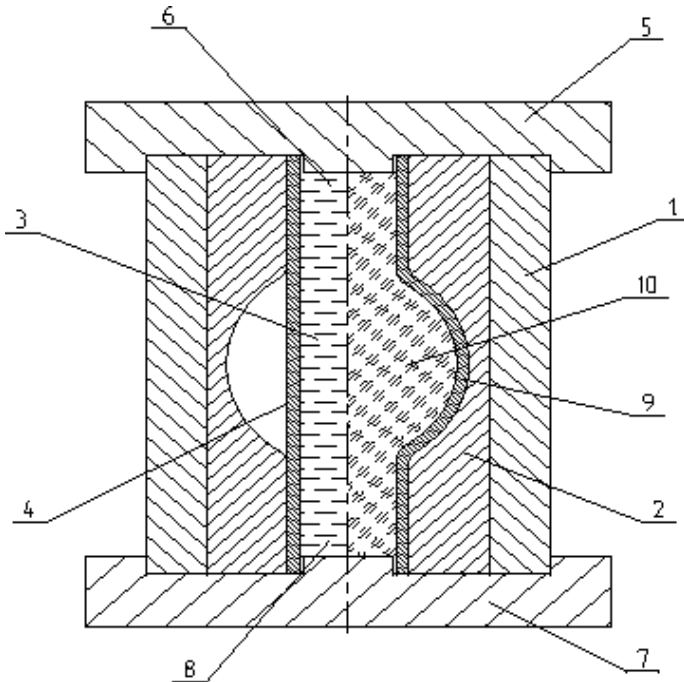


Рис. 21. Штмп для раздачи тонкостенной трубной заготовки



Рис. 22. Технологическая оснастка для деформирования листовых заготовок льдом

Осуществляют совместную гибку трубы и заготовки с их наполнителями. При этом трубу выполняют из материала и конструктивно из условия обеспечения ее жесткости в радиальном направлении и податливости в осевом направлении, достаточных для предотвращения гофрообразований и овальности при заданной температуре заморозки. Повышаются качество и эффективность.

2. СПОСОБ ГИБКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ. Патент RU №2308342. Оpubл. 20.10.2007. Бюл. №29.

Изобретение относится к области обработки металлов давлением и может быть использовано при изготовлении тонкостенных гнутых трубопроводов. Предварительно в наполнитель, содержащий воду, вносят древесные опилки в пропорции к воде, обеспечивающей увеличение объема наполнителя вследствие его замораживания до необходимой температуры и достижения им необходимой прочности на сжатие без формоизменения трубы до начала ее гибки. Затем замораживают заготовку с наполнителем. Гибку осуществляют в трубогибном устройстве. Повышаются качество и эффективность.

3. СПОСОБ КАЛИБРОВКИ И ЗИГОВКИ КОНЦОВ ТРУБ РАЗДАЧЕЙ.

Заявка на изобретение RU №2006112165. Оpubл. 10.11.2007. Бюл. №31.

Способ калибровки и зиговки концов труб раздачей с помощью жесткой матрицы и пуансона, выполненного из деформируемого материала, отличающийся тем, что в качестве материала используют воду, которой заполняют трубу, а затем ее замораживают до температуры, при которой объемное расширение образующегося при этом льда вызовет в стенках трубы в местах калибровки и зиговки напряжения выше предела текучести материала трубы.

4. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТЫХ ТРУБНЫХ

ЗАГОТОВОК. Патент RU №2324560. Оpubл. 20.05.2008. Бюл. №31.

Изобретение относится к области обработки металлов давлением, в частности к трубогибному производству. Трубную заготовку заполняют жидкостным наполнителем, состоящим из воды и смешанного с ней эмульсола, и подвергают гибке в трубогибных устройствах. После гибки трубную заготовку с наполнителем заключают в разъемную жесткую матрицу, геометрические параметры ручья которой соответствуют окончательной форме заготовки. Затем их охлаждают до отрицательной температуры, при которой объемное расширение образовавшегося в наполнителе льда вызовет в стенках заготовки сжимающие напряжения выше предела текучести материала заготовки. Далее заготовку отжигают для снятия остаточных напряжений. Повышается эффективность.

5. СПОСОБ ГИБКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ С НАПОЛНИТЕЛЕМ. Патент RU №2337779. Оpubл. 10.11.2008. Бюл. №31.

Изобретение относится к обработке металлов давлением, в частности к трубогибному производству, и может быть использовано в различных отраслях промышленности при изготовлении гнутых трубопроводов. Трубу с наполнителем, содержащим воду, замораживают и деформируют трубогибным устройством. В наполнитель вводят растворимую в воде соль, концентрацию которой выбирают из условия обеспечения после заморозки наполнителя его физико-механическими параметрами необходимых прочностных характеристик наполнителя. При этом температуру заморозки наполнителя выбирают из условия исключения формоизменения тонкостенной трубы при обеспечении равенства нулю коэффици-

Козин В. М., Марьин Б. Н., Марьин С. Б., Волков К. В., Попова Н. А., Грачева О. А., Одинокоев В. И., Евстигнеев А. И., Шпорт В. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

ента объемного расширения наполнителя в зависимости от концентрации соли. Повышается эффективность.

6. СПОСОБ ГИБКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ.

Патент RU №2322320. Оpubл. 20.04.2008. Бюл. №11.

Изобретение относится к области обработки металлов давлением и может быть использовано при изготовлении тонкостенных гнутых трубопроводов. Перед гибкой в трубе размещают шланг из эластичного материала с наполнителем. Наполнитель содержит воду и кристаллообразующие компоненты, в качестве которых используют растворимые в воде соли. Используют шланг, наружный диаметр которого меньше внутреннего диаметра трубы. Шланг устанавливают с зазором внутри трубы и заполняют его наполнителем. Зазор между стенками шланга и трубы, температуру охлаждения наполнителя и концентрацию соли выбирают из условия обеспечения плотного соприкосновения поверхностей шланга и трубы без формоизменения трубы до начала ее гибки при увеличении объема наполнителя вследствие его замораживания, толщину стенки шланга и теплопроводные свойства его материала выбирают из условия обеспечения теплоизоляции между наполнителем и трубой, исключающей таяние льда наполнителя вследствие повышения температуры при ее гибке, и повреждения внутренней поверхности трубы вследствие разрушения льда наполнителя. Повышаются качество и эффективность гибки.

7. СПОСОБ ГИБКИ ТРУБ С НАПОЛНИТЕЛЕМ. Патент RU №2339477. Оpubл. 27.11.2008. Бюл. №33.

Способ гибки труб с наполнителем, включающий вертикальную установку трубы с заглушенной пробкой ее нижнего торца, заполнение ее через верхний торец наполнителем, одним из компонентов которого является вода, замораживание его и гибку трубогибочным устройством, отличающийся тем, что используют тонкостенный шланг в виде ячеистой конструкции, который после заполнения трубы водой погружают в нее, при этом упомянутый шланг выполняют из легкодеформируемого материала, внешний диаметр которого выбирают из условия обеспечения плотного, но свободного его захода в трубу, а длину — равной длине трубы с установленными внутри него на расстоянии друг от друга проникаемыми для воды и воздуха поперечными диафрагмами, выполненными из легкодеформируемого материала, расстояние между которыми и их толщину выбирают в зависимости от относительного радиусагиба трубы.

8. СПОСОБ ГИБКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ. Патент RU №2349406. Оpubл. 20.03.2009. Бюл. №8.

Изобретение относится к обработке металлов давлением, в частности к трубогибному производству, и может быть использовано в различных отраслях промышленности при изготовлении гнутых трубопроводов. Тонкостенную трубу заполняют наполнителем, в качестве которого используют поролон, пропитанный водой. Пористость и температуру заморозки поролона выбирают из условия обеспечения увеличения его объема после его заморозки и достижения максимальной его прочности на сжатие при отсутствии формоизменения трубы до начала ее гибки. Затем осуществляют заморозку и деформирование трубы трубогибочным устройством.



Рис. 23. Опытный образец, изготовленный по разработанной технологии

Повышается качество гибки.

Выполненная работа показала целесообразность проведения новых экспериментально-теоретических исследований в разработке энерго- и ресурсосберегающих технологий в области машиностроения при формоизменении заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьин, Б.Н. Газовые системы летательных аппаратов/Б.Н. Марьин. — Владивосток: Дальнаука, 2001. — 447 с.
2. Гляциологический словарь/под ред. В.М. Котлякова. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 528 с.
3. Способ изготовления гнутых трубных заготовок. Патент РФ №2308341 С1/Козин В.М., Одинокоев В.И., Тимашев С.А., опубл. 20.10.2007 Бюл. №29.
4. Способ гибки тонкостенных труб. Патент РФ №2308342 С1/Козин В.М., Одинокоев В.И., Марьин Б.Н., опубл. 20.10.2007 Бюл. №29.
5. Способ калибровки и зиговки концов труб раздачей. Заявка на изобретение RU 2006112165 А/Козин В.М., Одинокоев В.И., Тимашев С.А., опубл. 10.11.2007 Бюл. №31.
6. Способ изготовления гнутых трубных заготовок. Патент РФ №2324560 С2/Козин В.М., Одинокоев В.И., Тимашев С.А., опубл. 20.05.2008 Бюл. №31.
7. Способ гибки тонкостенных труб с наполнителем. Патент РФ №2337779 С2/Козин В.М., Одинокоев В.И., Марьин Б.Н. и др., опубл. 10.11.2008 Бюл. №31.
8. Способ гибки тонкостенных труб. Патент РФ №2322320 С2/Козин В.М., Одинокоев В.И., Марьин Б.Н., опубл. 20.04.2008 Бюл. №11.
9. Способ гибки труб с наполнителем. Патент РФ №2339477 С2/Козин В.М., Одинокоев В.И., Марьин Б.Н. и др., опубл. 27.11.2008 Бюл. №33.
10. Способ гибки тонкостенных труб. Патент РФ №2349406 С2/Козин В.М., Верещагин В.Ю., Грисьяк А.А., опубл. 20.03.2009 Бюл. №8.